

## 외기 전용 공조기의 동특성 시뮬레이션

김 정 민, 김 영 일<sup>\*</sup>, 정 광 섭<sup>\*</sup>, 박 승 태<sup>\*\*</sup>

서울산업대학교 주택환경대학원, \*서울산업대학교 건축학부, \*\*(주)에이티이엔지

### Dynamic Simulation of a Dedicated Outdoor Air-conditioning System

Jung-Min Kim, Youngil Kim<sup>\*</sup>, Kwang-Seop Chung<sup>\*</sup>, Seung-Tae Park<sup>\*\*</sup>

**ABSTRACT** : Dedicated outdoor air-conditioning(DOA) system that utilizes pre-cooling and desiccant dehumidification can be superior to conventional cooling and reheating system with respect to energy consumption and indoor thermal comfort. In this work, simulation has been conducted to study various factors that affect the performance of DOA. Dynamic simulation shows the transient variation of temperature and humidity as the on/off control logic is imposed. Exit humidity of process air and flow rate are varied to study the effect on exit temperature of process air, dehumidification quantity, required regeneration temperature and exit humidity of regeneration air. For an outdoor air condition of 28.5°C temperature, 16 g/kg humidity ratio and 2000 cmh flow rate, the dehumidification efficiency is increased by 4.6% as the flow rate is doubled.

**Key words** : Dedicated outdoor air-conditioning(외기 전용 공조기), Dehumidification(제습), Dynamic simulation(동특성 시뮬레이션), Cooling(냉방), Heating(난방), Humidity(습도)

#### 기 호 설 명

$COP$  : 장치의 성능계수  
 $f$  : 외부공기와 응축액을 혼합했을 때의 변화 비율,  $0 < f < 1$   
 $h_{air,in}$  : 가습기 입구공기의 엔탈피 [kJ/kg·K]  
 $h_{air,out}$  : 가습기 출구공기의 엔탈피 [kJ/kg·K]  
 $h_{H_2O,in}$  : 가습기 입구에 물의 엔탈피 [kJ/kg·K]  
 $h_{H_2O,out}$  : 가습기 출구에 물의 엔탈피 [kJ/kg·K]  
 $\dot{m}_{air}$  : 공기의 흐름비 [kg/h]  
 $\dot{m}_{H_2O,in}$  : 가습기 입구의 물의 흐름비 [kg/h]  
 $\dot{m}_{H_2O,out}$  : 가습기 출구의 물의 흐름비 [kg/h]  
 $\dot{P}_{comp}$  : 압축기의 소비전력 [kJ/h]  
 $\dot{P}_{fan,in}$  : 내부팬의 소비전력 [kJ/h]  
 $\dot{P}_{fan,out}$  : 외부팬의 소비전력 [kJ/h]  
 $\dot{Q}_{tot,cool}$  : 히트펌프의 냉방 총 소비전력 [kJ/h]

$\dot{Q}_{tot,heat}$  : 히트펌프의 난방 총 소비전력 [kJ/h]

$T_{H_2O,in}$  : 공기가 혼합된 물의 온도 [°C]

$T_{H_2O,out}$  : 응축수의 온도 [°C]

#### 1. 서 론

최근 공조 시스템에서는 CFC로 인한 오존층 파괴문제, CO<sub>2</sub> 등으로 인하여 지구온난화 문제를 해결할 수 있는 자연친화적인 제습 공조시스템에 대한 관심이 고조되고 있다.

제습 공조 시스템은 온도 조건뿐만 아니라 습도 제어도 중요한 요소로 인식되고 있다. 특히 반도체 및 섬유 산업 등 일부 산업에서는 습도 조절은 온도보다 더 큰 중요성을 지니고 있다.

우리나라의 여름철 기후는 고온 다습한 특성을 지니고 있으며 습도가 쾌적성을 결정짓는 중요한 요소이다. 제습 과정에는 많은 에너지가 소비됨으로 이를 개선하기 위하여 활발한 연구가 행해지고 있다.

Park<sup>(1)</sup>은 사계절용 외기 전용 공조기의 제습

† Corresponding author

Tel.: +82-2-970-6557; fax: +82-2-974-1480

E-mail address: yikim@snut.ac.kr

방법과 운전 흐름도에 대하여 비교하였고, Choi (2)는 냉각 제습방식과 흡착 제습방식의 운전비용을 분석하였다.

본 연구에서는 동특성 시뮬레이션 해석 코드인 TRNSYS 프로그램을 이용하여, 외기 전용 공조기의 성능을 분석하였다.

## 2. 해석 모델 및 관련 이론

### 2.1 퍼지 시스템

퍼지(purge) 시스템은 제습로터 유입 프로세스 존 건조공기, 프로세스공기 1/3 이하의 공기 재생용 고온퍼지존, 그리고 가열재생히터 고온재생존의 세 부분으로 나누어져 있고, 건조로터표면에 온도의 상승시켜 공기 중에 포함되어 있는 박테리아나 바이러스, 곰팡이균을 살균처리 한다.

퍼지존을 통과한 재생용 공기는 송풍기를 통해서 배기시키고, 제습처리존의 공기는 급기 시킨다.

퍼지 시스템은 Fig. 1과 같고, 처리측공기와 재생측공기의 습공기선도상의 온도 흐름변화는

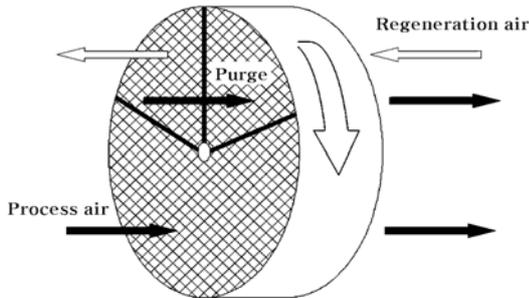


Fig. 1 Purge system.

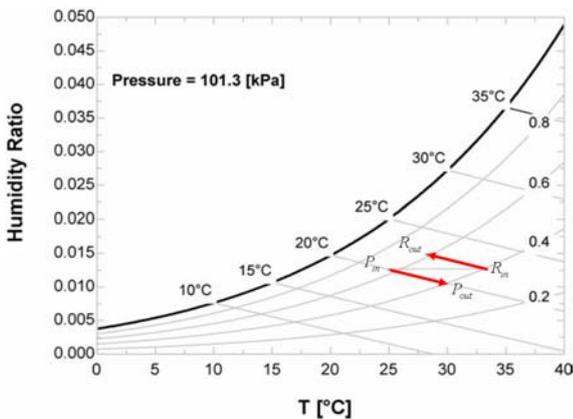


Fig. 2 Ideal desiccant dehumidification process.

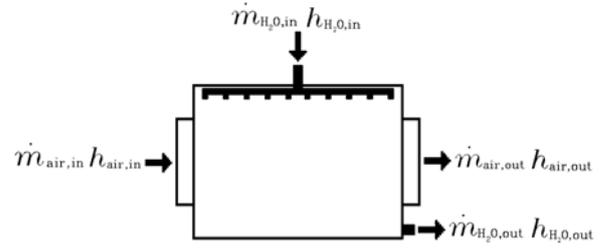


Fig. 3 Humidifier.

Fig. 2와 같다.

### 2.2 기화식 가습기

기화식 가습기는 입구공기 온·습도에서 포화효율은 일정하게 유지하고, 가습 능력을 유지할 수 있다.

기화식 가습기는 물의 단열 변화를 이용하기 때문에 절대습도는 올라가고, 공기의 온도는 낮아지게 되므로 냉각된 냉각 열만큼 가열원이 필요하게 된다.

Fig. 3은 기화식 가습기를 나타낸 것으로 가습기를 통해서 가습기 출구의 가습량과 응축 온도를 식(1), (2)과 같이 계산 된다.

$$h_{air, out} = h_{air, in} + \frac{\dot{m}_{H_2O, in}}{\dot{m}_{air}} h_{H_2O, in} \quad (1)$$

$$T_{H_2O, out} = (1-f)_{H_2O, in} + fT_{air, H_2O} \quad (2)$$

### 2.3 열펌프

히트 펌프는 하절기에는 실내 열을 응축기를 통과시킨 후 실외로 이동시키고, 증발기를 통해서 실내 온도를 낮추고, 반대로 동절기에는 하절기와는 반대 방향으로 작동하여 실외 공기로부터 열을 추출하여 이를 압축시켜 가열한 후 실내로 따뜻한 공기를 이송 하는 장치이다.

히트 펌프의 작동원리는 Fig. 4와 같다.

$$COP_1 = \frac{\dot{Q}_{tot, cool}}{\dot{P}_{comp} + \dot{P}_{fan, out} + \dot{P}_{fan, in}} \quad (3)$$

$$COP_2 = \frac{\dot{Q}_{tot, heat}}{\dot{P}_{comp} + \dot{P}_{fan, out} + \dot{P}_{fan, in}} \quad (4)$$

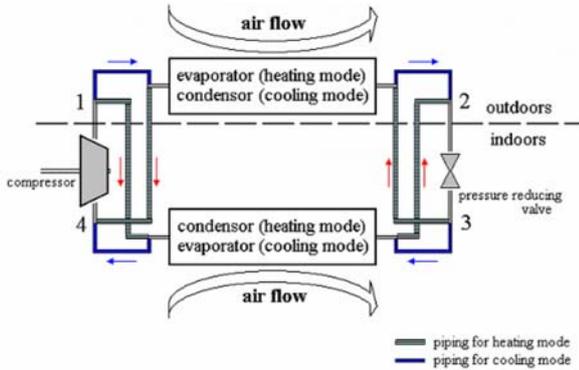


Fig. 4 Heat pump schematic.

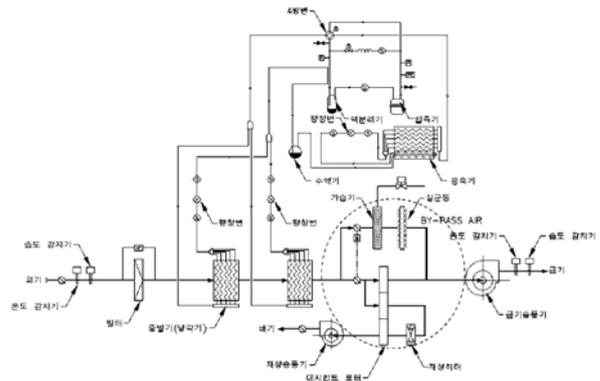


Fig. 5 Four-season dedicated outdoor air handling unit (Summer).

## 2.4 사계절 외기공조기의 시스템 구성

사계절용 외기 전용 공조기는 온도와 습도를 각각 제어하므로 재가열과정을 거치지 않고, 실내로 직접 공급이 된다.

또한, 사계절용 외기 전용 공조기는 일반 공조기와는 달리 사계절동안 이용할 수 있는 장점이 있다.

하절기와 동절기의 작동 원리를 보면 하절기에는 외기공기를 온·습도센서를 감지하여 자동제어 컨트롤러에 의해 히트펌프 냉각 시스템이 동작하여 외기의 오염된 공기는 필터를 지나 청정공기로 만들어 냉각코일에서 냉각 및 1차 냉각제습이 되고 일부공기는 퍼지시스템을 채용한 데시칸트 로터에 유입되어 프로세스 존을 지나 건조공기가 되어 나오고, 프로세스공기가 재생용으로 고온의 퍼지 존을 공기온도가 80~140℃로 가열되어 나와 재생히터에서 충분한 고온으로 되어 재생 존에서 습기가 많은 로터를 건조 고온의 재생온도에 의해 공기 중에 포함할 수 있는 세균이 살균되어 자외선램프를 지나 급송풍기에 공기가 혼합되어 메인 공조기나 실내로 공기를 공급한다. 이에 대한 작동 원리는 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

동절기에는 외기공기를 온·습도센서를 감지하여 자동제어 컨트롤러에 의해 히트펌프 히팅 시스템이 동작하며 외기공기는 필터를 지나 히팅코일에서 가열되고 데시칸트 제습기 측은 자동제어 컨트롤러 히트펌프 냉각 시스템 동작 댐퍼가 자동으로 차단하여 공기의 유입이 없도록 하며 바이패스 측의 기화식 가습기를 지나 공기 중에 포함할 수 있는 세균이 살균되어 자외선램프를 지

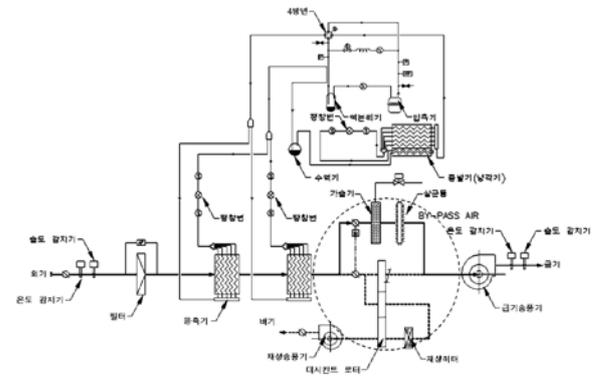


Fig. 6 Four-season dedicated outdoor air handling unit (Winter).

나 급송풍기에 공기가 혼합되어 메인 공조기나 실내로 공기를 공급한다. 이에 대한 작동 원리는 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

## 3. 시뮬레이션 결과

### 3.1 외기공조기 시뮬레이션 결과

사계절 외기공조기의 시뮬레이션결과 하절기의 온·습도 결과 포인트는 Fig. 7과 같다.

하절기 8월 3일 하루 동안 외기 ①점에서의 온·습도가 지속적으로 변화하면서 히트펌프를 통과 하면서 냉각 제습이 이루어지는 히트펌프 출구온도는 ②점과 같다.

하절기 외기의 온도 변화에 따라서 일정온도를 유지하기 위해서 히트펌프의 on-off제어를 통해서 온도가 공급되기 때문에 히트펌프의 출구 온도가 14~24℃로 지속적으로 변화하고 있다.

퍼지형 제습로터를 지나면서 제습이 되면서 제

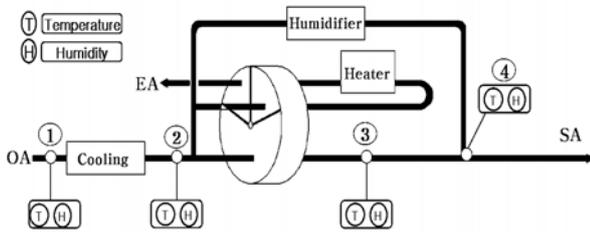


Fig. 7 Cooling process.

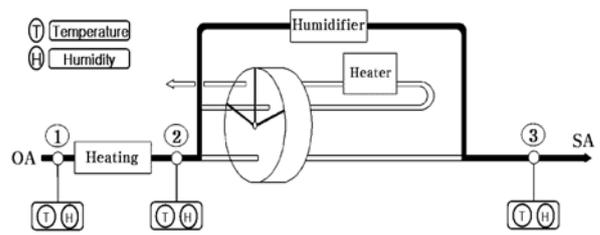
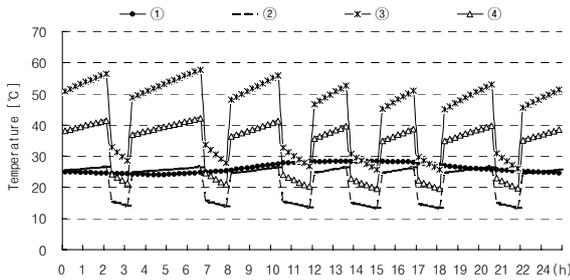
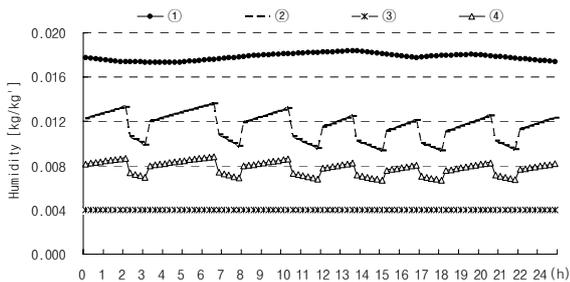


Fig. 9 Heating process.



(a) Temperature



(b) Absolute humidity

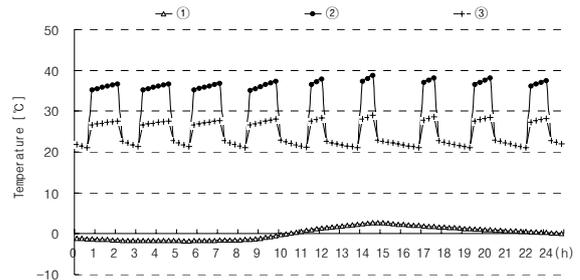
Fig. 8 Cooling simulation.

습로터 출구 온·습도 변화는 ③점과 같이 제습에 의해 습도가 낮아지면서 온도는 올라가게 되고, 히트펌프를 지나면서 일부분의 공기가 바이패스 되고, 제습로터를 지나서 공기와 다시 혼합이 이루어지면서 ④점과 같이 나타나게 된다. 이에 대한 시뮬레이션결과는 Fig. 8과 같이 나타난다.

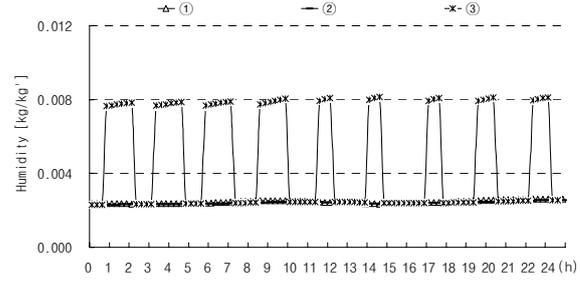
외기공조기의 동절기 운전에 따른 온도 및 습도의 변화는 Fig. 9와 같다.

동절기 1월 2일 하루 동안 외기의 온·습도의 ①점에서의 온·습도가 지속적으로 변화하면서 히트펌프를 통과하면서 히팅코일에서 가열이 되면서 히트펌프의 출구온도는 상승하여 ②점과 같이 나타난다.

동절기 외기의 온도 변화에 따라서 일정온도를 유지하기 위해서 히트펌프의 on-off제어를 통해서 온도가 공급되기 때문에 히트펌프의 출구 온도가 21~34°C로 지속적으로 변화하고 있는 ②지



(a) Temperature



(b) Absolute humidity

Fig. 10 Heating simulation.

점과 같이 나타난다.

동절기에는 제습로터를 사용하지 않기 때문에 댐퍼로 제습기측은 차단하고, 모든 공기를 바이패스 시켜서 기화식 가습기를 지나서 가습을 시켜서 실내로 공급되는데 이 점은 ③과 같이 나타난다. 이에 대한 시뮬레이션결과는 Fig. 10과 같이 나타난다.

### 3.2 제습로터 해석 결과

외기 조건의 온도가 28.5°C, 습도가 16g/kg일 때, 외기로부터 공기가 유입되어 증발기를 지나 제습로터를 통과할 때 제습로터의 출구 습도의 변화에 따라서 처리측 온도와 재생측의 온·습도가 달라지게 되는데 그에 대한 결과는 Fig. 11과 같이 나타난다.

Fig. 11에서처럼 증발기의 온도가 14°C이고, 습

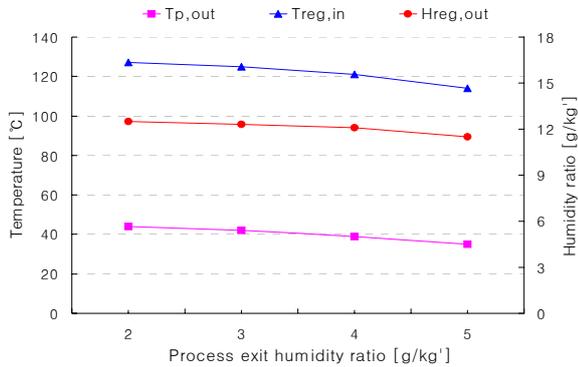


Fig. 11 Effect of process exit humidity.

도가 8.8g/kg일 때 제습로터의 출구습도를 낮추기 위해서 처리측 출구온도가 높아지게 되고, 반대로 제습로터의 출구습도가 높을수록 처리측의 출구 온도는 낮아지게 된다.

재생측 로터에서는 흡인된 습도를 배기시키는데, 재생측의 입구측 습도가 9.3g/kg일 때 처리측의 출구습도가 낮을수록 재생측에는 흡수된 수분만큼 배기시키기 위해서 재생측의 온도가 높아지게 되고, 반대로 처리측의 출구습도가 높을수록 재생측의 흡수된 수분량이 적기 때문에 재생측 습도량도 감소하게 된다.

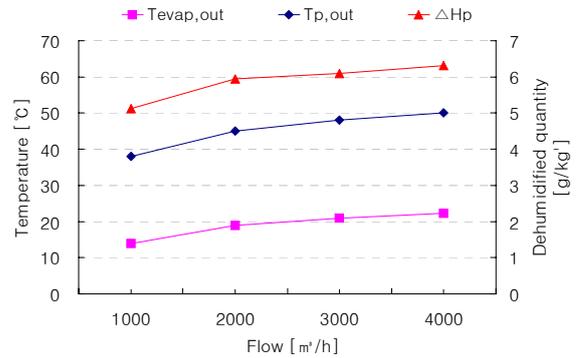
처리풍량에 대한 증발기와 제습기의 온·습도 변화를 보면, 제습기의 제습량을 증가시키기 위해서 히트펌프를 사용하여 냉각을 시킨 다음 제습로터의 처리측으로 보내지는데, 외기의 처리풍량의 변화에 따른 히트펌프의 온·습도의 변화를 보면 처리풍량이 증가할수록 히트펌프의 증발기 온·습도가 증가하면서 제습량은 증가하게 되고, 반대로 처리풍량이 감소하면 히트펌프의 증발기 온·습도가 감소하여 제습량이 감소하게 된다.

재생측의 온도는 제습로터의 처리측 온·습도의 변화에 따라 변하게 되므로 처리측출구의 온·습도가 증가하게 되면서 재생측의 온·습도도 증가하게 된다.

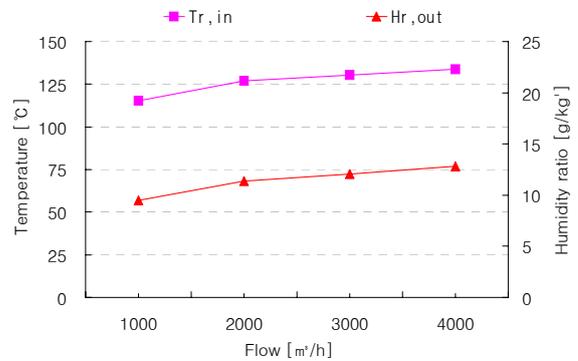
처리풍량에 대한 증발기와 제습기의 온·습도 변화에 대한 결과는 Fig. 12와 같다.

이처럼, 외기공조기에 처리풍량이 증가하면서 공기중에 포함된 공기량이 증가하게 되면서 증발기의 온도가 상승하게 되고, 이는 다시 제습로터에 영향을 주게 되어 제습기의 온·습도가 증가하게 되어 처리해야할 제습량이 증가하게 된다.

증발기의 온도 변화와 제습기의 온·습도 변화



(a) Temperature and dehumidification quantity



(b) Regeneration temperature and humidity

Fig. 12 Effect of flow rate.

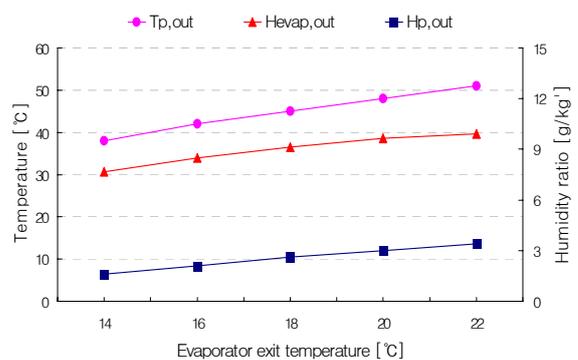


Fig. 13 Effect of evaporation temperature.

에 대한 결과는 Fig. 13과 같다.

이와 같이, 처리풍량이 증가하면서 증발기의 온도가 증가하게 되고, 재생용량의 증가와 더불어 제습량도 증가하게 된다.

반대로 처리풍량이 감소하게 되면 증발기의 온도는 감소하게 되고, 재생용량의 감소와 더불어 제습량도 감소하게 된다.

처리풍량이 2000 m³/h를 기준으로 볼 때 풍량이 줄어들수록 재생 열량이 줄어들면서 제습량이

Table 1 Effect of flow rate on dehumidification

Flow (m <sup>3</sup> /h)	Evaporator temperature (°C)	Regeneration capacity (kW)	Dehumidification (kg/h)	Dehumidification efficiency (kg/kWh)	Percent increase (%)
1000	14	10.2	6.1	0.60	-7.7
2000	19	21.9	14.3	0.65	0
3000	21	33.1	21.9	0.66	+1.5
4000	23	44.9	30.3	0.68	+4.6

감소하게 되면서 제습효율이 7.7% 감소하게 되고, 풍량이 증가 할수록 재생 열량이 증가하면서 제습량이 증가하게 되면서 제습효율은 4.6%정도 증가하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 사계절용 외기 전용 공조기의 TRNSYS를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 외기공조기의 제습로터의 출구습도에 따라 처리측의 온도와 재생측의 온도에 영향을 미치는 데, 제습로터의 출구습도가 낮아지게 되면 제습로터의 출구온도와 재생측의 온·습도가 높아지게 되고, 반대로 제습로터의 출구습도가 높아지게 되면 제습로터의 출구온도와 재생측의 온·습도가 높아지게 되는 것을 확인할 수 있었다.

2) 처리풍량의 변화에 따른 히트펌프와 제습로터의 변화를 보면, 처리풍량이 증가할수록 히트펌프의 증발기 출구 온·습도가 증가하면서 제습량은 증가하게 되고, 재생측의 온도는 제습로터의 처리측 온·습도의 변화에 따라 변하게 되므로 처리측출구의 온·습도가 증가하게 되면서 재생측의 온·습도도 증가하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

3) 외기 조건의 온도가 28.5°C, 습도가 16 g/kg 일 때, 처리풍량 2000 m<sup>3</sup>/h를 기준으로 풍량이 증가하게 되면, 재생용량 및 제습량도 증가하게 된다. 그러므로 처리풍량 증가에 따른 제습효율은 4.6% 상승하게 된다.

반대로 처리풍량이 감소하면 제습효율은 7.7% 감소하게 되는 것을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. TRNSYS(Transient System Simulation) 15 Program, 2000, Solar Energy Lab. Rep., University of Wisconsin-Madison.
2. Park, Seung-Tae and Kim, Youngil, et al, 2006, Four-season Dedicated Outdoor Air Handling Unit, Proceedings of the SAREK 2006 Summer Annual Conference, pp. 897-906.
3. Choi, Se-Young and Kim, Nam-Hyun, 2005, Design and Operation Cost Analysis of Refrigeration Dehumidification Process and Absorption Dehumidification Process, Proceedings of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 977-982.